

PENGUKURAN TINGGI MUKA DASAR PERAIRAN SECARA FOTOGRAMETRI

Prijono Nugroho Djojomartono*)

ABSTRACT

Precision and complete geometric information of the under water surface, particularly in the sea area is very important to the planning purposes. Determination of the geometric of under water surface which is commonly used is sounding and remote sensing technique. For practical purposes, determination of shallow water surface could be done by means of photogrammetric technique.

In this investigation photogrammetric technique was used on the simulation data. A number of control points on the water reservoir set in various of depth, then non metric camera was used to expose. The result of the exposure was processed analytically using Bundle Adjustment with self Calibration, and then correction to the water deflection was added. The result of the computation was tested statistically to know the validity of the data and mathematical model. Furthermore to know the precision of the result, the out put was compared to the direct observation.

The result of the investigation shows that in the convergent cases the accuracy less than 2 cm on the 100 cm depth. While for the vertical cases the precision was decrees liniary towards the depth of the water. Generally 2% accuracy of the height is suitable for mapping of the under water surface, specially in the mapping for shallow water surface.

PENDAHULUAN

Informasi yang lengkap dan teliti mengenai topografi dasar perairan, khususnya perairan laut sangat diperlukan. Hal ini mengingat wilayah Indonesia yang lebih dari dua per tiga berupa lautan sangat potensial mengandung bahan makanan (ikan, tanaman laut), barang tambang (minyak lepas pantai), dan sebagai sarana transportasi dan komunikasi (pelayaran, sistem komunikasi kabel laut). Untuk dapat memanfaatkan potensi laut tersebut secara maksimal, maka diperlukan informasi tentang topografi dasar perairan laut, sebagai media perencanaan bagi berbagai kepentingan.

Data topografi perairan laut dapat dikelompokkan dalam dua bagian, yaitu data semantik dan data geometris. Permasalahan data semantik permukaan dasar perairan laut, terutama laut dangkal telah banyak diungkap melalui sistem penginderaan jauh, misalnya dengan interpretasi foto ortokromatik yang peka terhadap vegetasi dan mempunyai daya tembus yang baik terhadap air, dan citra TM (*thematic mapper*) pada Landsat (Sutanto, 1987). Sedangkan permasalahan geometri dasar perairan laut telah banyak diselesaikan dengan survei *bathimetri*, baik dengan teknik penginderaan jauh atau teknik pemeruman. Dengan teknik penginderaan jauh ketelitian geometri yang didapat sangat kasar, sedangkan dengan teknik pemeruman biaya operasionalnya sangat mahal.

Teknik fotogrametri yang biasa digunakan untuk pemetaan topografi daratan sangat memungkinkan diaplikasikan untuk pemetaan topografi dasar perairan laut, khususnya untuk laut dangkal. Hal ini mengingat bahwa :

a) Eksploitasi sumber daya laut dan perencanaan pelayaran pantai (pelabuhan) hanya membutuhkan kedalaman yang relatif dangkal. Pelayaran Pantai

pada umumnya membutuhkan kedalaman 8 meter, sedangkan kegiatan eksploitasi hanya dilakukan pada daerah laut dangkal (Sutanto, 1987).

b) Teknik fotogrametri dapat menghasilkan data semantik dan geometrik secara bersama, dengan ketelitian geometris yang sangat baik (Saksono, 1988).

Untuk mengetahui seberapa jauh tingkat ketelitian geometris yang dapat dicapai dengan teknik fotogrametri ini, maka dilakukan percobaan awal yang sifatnya masih dasar. Percobaan dilakukan dengan menggunakan data simulasi berupa bak air dengan sejumlah titik kontrol dipasang didalamnya pada distribusi dan variasi ketinggian yang berbeda. Pemotretan dilakukan dengan menggunakan kamera non-metrik Cannon GIIIQL memakai film Fuji CN 135 ASA 100.

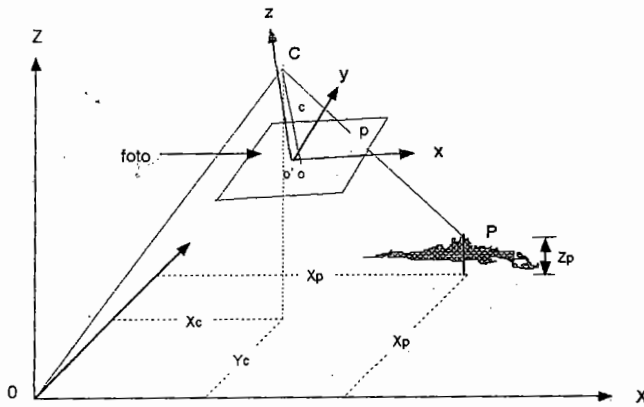
Berdasar penelitian yang pernah dilakukan oleh Tewinkel (1963), bahwa dengan teknik fotogrametri, secara analog garis kontur bawah permukaan air masih dapat digambar dengan baik dan teliti sampai dengan kedalaman 18 meter. Pemberian nilai ketinggian kontur dikoreksi dengan faktor pembiasan udara-air, yang besarnya bervariasi sesuai dengan posisi relatif titik-titik obyek dalam model stereoskopi. Dan berdasarkan penelitian yang lain yang berkenaan dengan pemakaian kamera non metrik, seperti pernah dilakukan oleh Frans Tri Dwi B. Riyanto (1988), Tono Saksono (1988), dan Agul Irianto (1989), bahwa penggunaan kamera jenis ini jika diselesaikan secara analitis dapat menghasilkan ketelitian baik pada arah planimetri maupun ketinggian sebesar kurang dari 1 mm.

LANDASAN TEORI

Hubungan antara koordinat foto dan koordinat obyek secara geometri dapat dilihat seperti pada Gambar

*) Ir. Prijono Nugroho Djojomartono, MSP., Dosen Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik UGM

1, yang secara matematis diformulasikan dalam bentuk persamaan kesegarisan seperti pada persamaan 1.



Gambar 1. Hubungan antara koordinat foto dan koordinat obyek

$$\begin{aligned} x - x_0 &= -c \frac{m_{11}(X - X_c) + m_{12}(Y - Y_c) + m_{13}(Z - Z_c)}{m_{31}(X - X_c) + m_{32}(Y - Y_c) + m_{33}(Z - Z_c)} \\ y - y_0 &= -c \frac{m_{21}(X - X_c) + m_{22}(Y - Y_c) + m_{23}(Z - Z_c)}{m_{31}(X - X_c) + m_{32}(Y - Y_c) + m_{33}(Z - Z_c)} \end{aligned} \quad 1)$$

Dalam hal kamera non metrik, model tersebut harus disempurnakan lagi dengan melakukan kompensasi terhadap kesalahan sistematis yang ada, seperti distorsi lensa radial, distorsi lensa tangensial, dan adanya afinitas pada sistem koordinat foto. Secara matematis kesalahan sistematis tersebut dapat diformulasikan kedalam persamaan 2, 3, dan 4.

Δr : distorsi radial lensa, dijabarkan menjadi :

$$\Delta r_x = (x - x_0) (k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \quad 2)$$

$$\Delta r_y = (y - y_0) (k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6)$$

Δp : distorsi tangensial lensa, dijabarkan :

$$\Delta p_x = p_1(r^2 + 2(x - x_0)^2) + (2p_2(x - x_0)(y - y_0)) \quad 3)$$

$$\Delta p_y = p_2(r^2 + 2(y - y_0)^2) + (2p_2(x - x_0)(y - y_0))$$

Δq : affinitas sistem koordinat foto, dijabarkan :

$$\Delta q_x = A(y - y_0) \quad 4)$$

$$\Delta q_y = B(y - y_0)$$

$$A = (1 + \Delta s) \sin \Delta \beta$$

$$B = (1 + \Delta s) \cos \Delta \beta$$

$$r^2 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2$$

k_1, k_2, k_3 : parameter distorsi radial lensa

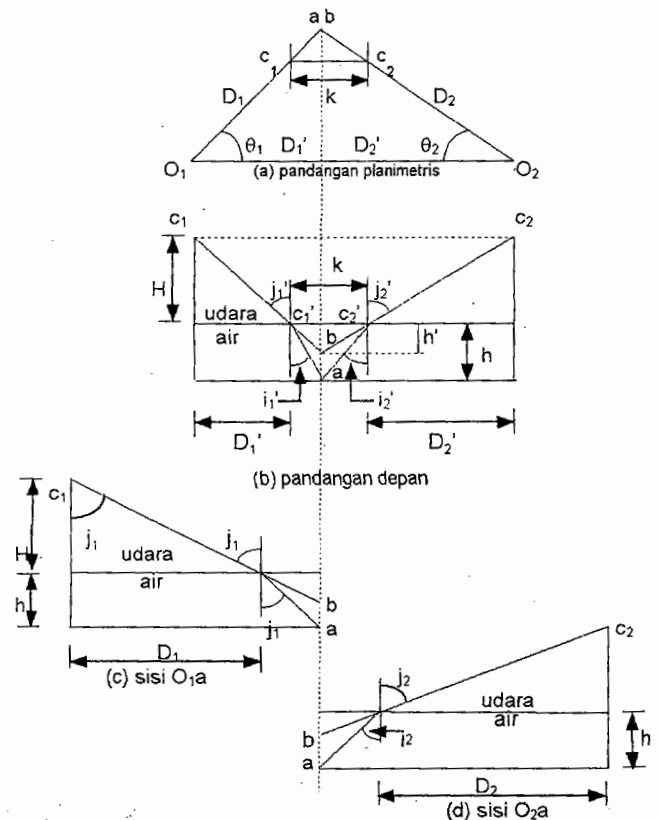
p_1, p_2 : parameter distorsi tangensial lensa

A, B : parameter affinitas

Δs : perubahan skala panjang sumbu y untuk setiap unit sumbu x
 $\Delta \beta$: sudut yang terbentuk akibat ketidaklurusan sumbu-sumbu foto

Dengan memasukkan persamaan 2, 3, dan 4 ke dalam persamaan 1, maka diperoleh hubungan matematis antara koordinat foto dan koordinat obyek yang lebih sempurna. Cara penyelesaian dengan model matematis tersebut secara serentak dengan metode kuadrat terkecil, dalam fotogrametri dikenal dengan istilah **Bundle Adjustment** dengan **Self Calibration**.

Pada kasus pemotretan obyek di bawah permukaan air, koordinat hasil penentuan cara fotogrametri tersebut harus dikoreksi terhadap kesalahan yang diakibatkan oleh faktor bias udara-air. Kesalahan ini sifatnya sistematis, besarnya tergantung pada nilai indeks bias air dan posisi relatif obyek terhadap pusat pemotretan (Tewinkel, 1963). Gejala adanya kesalahan tersebut secara grafis dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Geometri kesalahan akibat pembiasan

Pada gambar tersebut posisi kamera adalah C_1 dan C_2 dengan ketinggian H di atas permukaan air. Obyek terletak pada kedalaman h di bawah permukaan air. Pada saat pemotretan berkas sinar dari obyek (a) berjalan melewati permukaan air di c dan membentuk sudut datang sebesar i . Karena berkas sinar melewati dua media (air-udara) yang berbeda kerapatannya dengan indeks bias mutlak air sebesar n_{air} , maka berkas sinar terbias dengan sudut bias j . Berkas sinar tersebut

berjalan terus hingga terrekam pada film. Koreksi terhadap kesalahan ini disebut sebagai faktor pengali kedalaman (F), besarnya dapat diformulasikan ke dalam persamaan 5.

$$F = \frac{h}{h'} = \frac{\tan j_1 \cos \theta_1 + \tan j_2 \cos \theta_2}{\tan i_1 \cos \theta_1 + \tan i_2 \cos \theta_2} \quad (5)$$

Dalam hal ini :

$$j = \arctan \frac{((x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2)^{1/2}}{c}$$

$$\frac{\sin i}{\sin j} = 1/n_{\text{air}}$$

$$\theta = \arctan \frac{y_i - y_0}{x_i - x_0}$$

Posisi planimetris (X,Y) obyek di bawah permukaan air tidak mengalami pergeseran akibat pembiasan pada saat reproyeksi, sedangkan posisi ketinggian (Z) obyek harus dikoreksi dengan berdasar persamaan 6.

$$\bar{Z}_i = (1 - F) \bar{Z}_{\text{air}} + F_i \bar{Z}_i \quad (6)$$

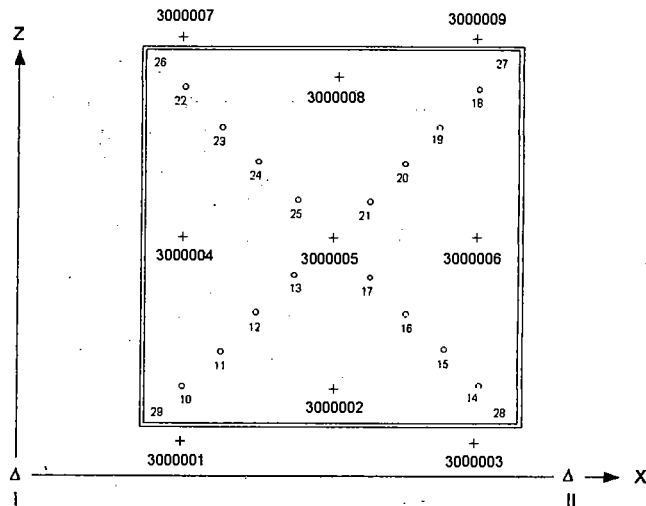
Dalam hal ini :

- \bar{Z}_i : koordinat vertikal titik i setelah dikoreksi
- Z_i : koordinat vertikal titik I sebelum dikoreksi
- Z_{air} : koordinat vertikal permukaan air
- F_i : faktor pengali untuk titik i

PELAKSANAAN PENELITIAN

Secara garis besar pelaksanaan penelitian terdiri atas pekerjaan lapangan dan pekerjaan laboratorium seperti dapat dilihat pada gambar 3. Pekerjaan lapangan meliputi pengadaan data simulasi bak air dengan sejumlah titik kontrol dipasang didalamnya, kemudian

diukur secara terestris dan dilakukan pemotretan. Distribusi titik kontrol yang dipasang secara planimetris dapat dilihat pada gambar 4.

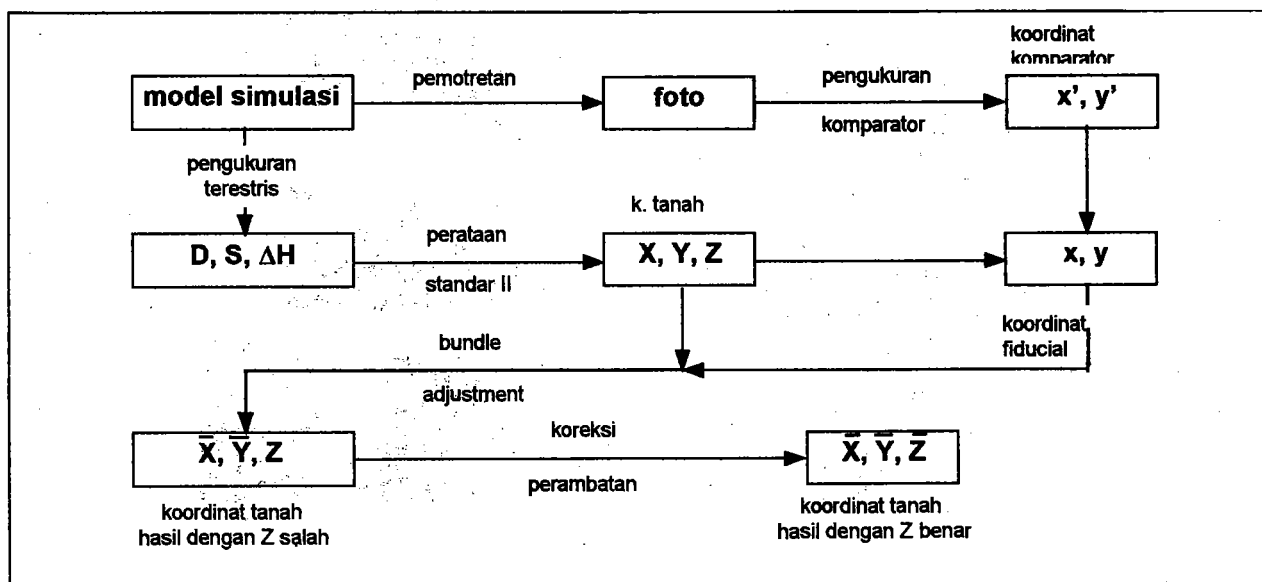


Keterangan :

- I, II : titik referensi
- 3000001,2 ... : titik kontrol
- 10,11, : titik obyek /check point

Gambar 4. Distribusi titik kontrol data simulasi pada bak air

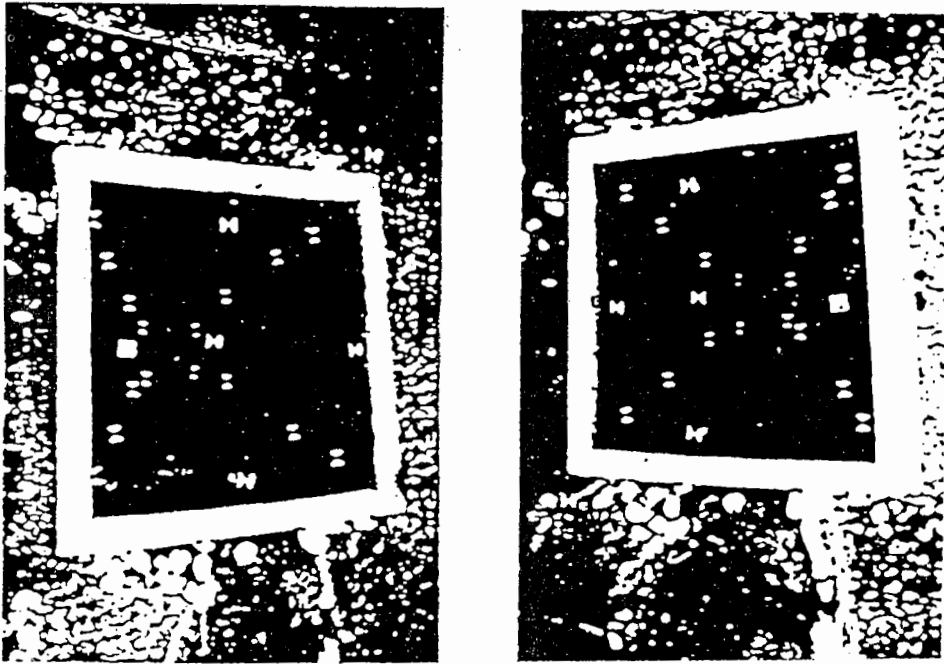
Pengukuran terestris pada titik kontrol yang telah dipasang dilakukan dengan cara pemotongan kemuka menggunakan teodolit Wild T1, dan cara sipat datar dengan menggunakan alat Sokhisa B2. Baik untuk planimetri (x,y) maupun ketinggian (z) keduanya ditentukan secara lokal. Pemotretan menggunakan kamera non metrik Canon GIIIQL dan film Fuji CN 135 ASA 100 dilakukan dengan cara konvergen dan cara



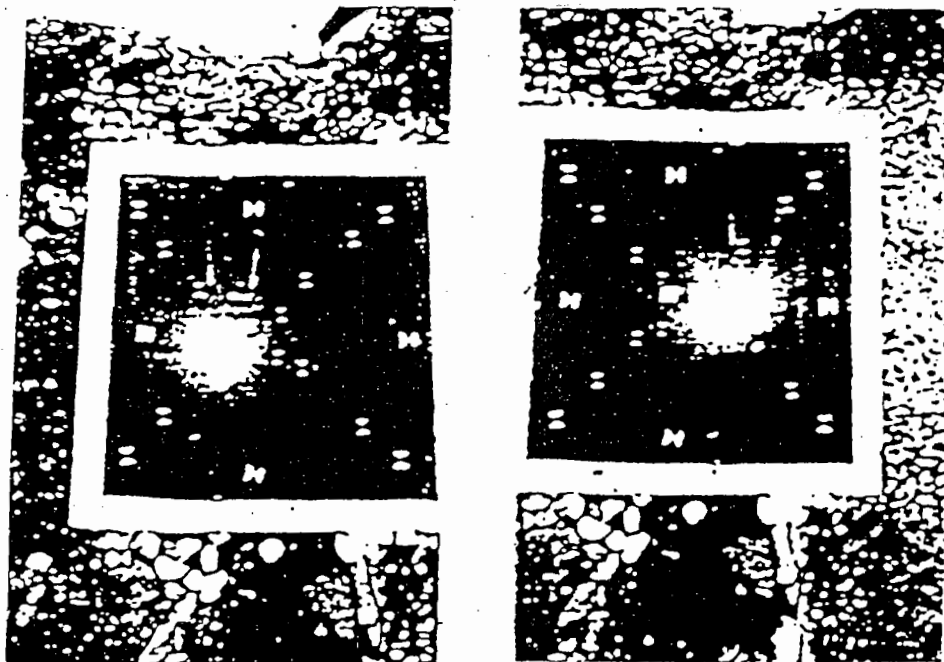
Gambar 3. Garis besar urutan pelaksanaan penelitian

vertikal dengan mengikuti kaidah pemotretan untuk keperluan fotogrametri. Hasil pemotretan dapat dilihat pada Gambar 5(a) kasus konvergen dan Gambar 5(b) kasus vertikal.

Pekerjaan laboratorium meliputi penyelesaian hitungan data terestris dan data fotogrametris, yang terdiri atas pengukuran koordinat foto pada alat komparator, hitungan transformasi koordinat, dan hitungan perataan. Semua hitungan dilakukan dengan



Gambar 5a. Hasil pemotretan cara konvergen



Gambar 5b. Hasil pemotretan cara vertikal

program yang telah disusun. Untuk penyelesaian cara analitis dari hasil pemotretan digunakan model matematis yang telah ditentukan, seperti tertulis pada persamaan 1 (substitusi 2, 3 dan 4), serta persamaan 5 dan 6.

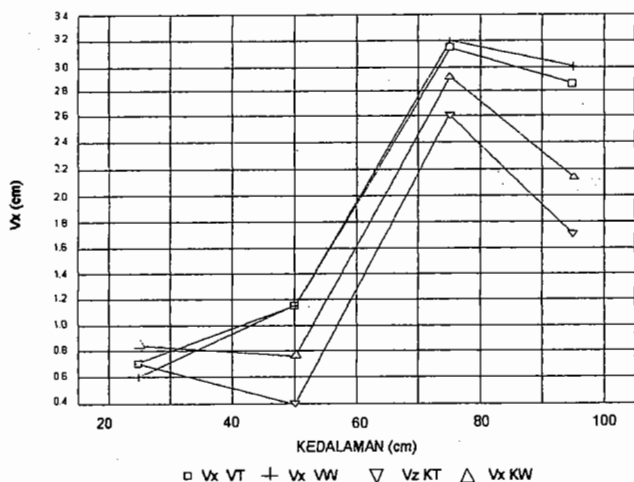
Analisis ketelitian hasil pengukuran secara fotogrametris dilakukan secara internal maupun eksternal. Analisis secara internal dilakukan dengan pengujian statistik terhadap perolehan data dan penggunaan model matematis yang digunakan, sedangkan analisis secara eksternal dilakukan dengan cara membandingkan hasil hitungan yang diperoleh terhadap hasil pengukuran langsung secara terestris. Dalam hal ini hasil pengukuran terestris digunakan sebagai referensi dan dianggap benar. Perbandingan hasil tersebut baik secara planimetri maupun ketinggian dikaitkan langsung dengan kedalaman air, sehingga perilaku yang terjadi dapat dilihat secara lebih jelas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

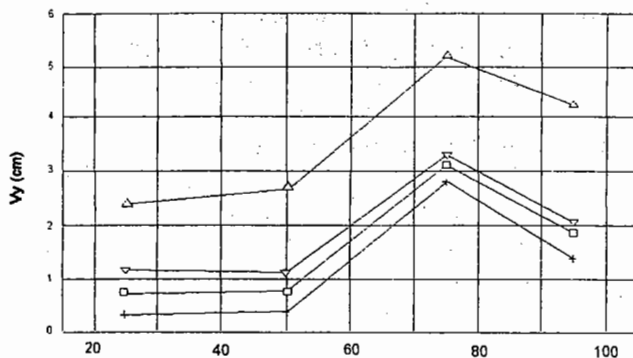
Untuk memudahkan dalam pembahasan, maka hasil analisis akan disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara ketelitian terhadap kedalaman air.

Pengaruh pembiasan air terhadap ketelitian planimetris (V_x, V_y)

Grafik yang menggambarkan hubungan antara ketelitian planimetris arah x dan kedalaman air dapat dilihat pada Gambar 6(a), sedangkan untuk arah y dapat dilihat pada Gambar 6(b). Dari gambar tersebut terlihat bahwa nilai ketelitian planimetris baik pada arah x maupun arah y adalah cukup baik, yaitu berkisar antara 0.5 cm - 5 cm. Bahkan pada kedalaman kurang dari 50 cm ketelitiannya mencapai kurang dari 1 cm. Hal ini sesuai dengan pustaka yang ada, bahwa untuk posisi planimetri efek pembiasan air hampir tidak ada pengaruhnya sama sekali. Hal ini sangat menguntungkan karena untuk keperluan pemetaan topografi bawah perairan ketelitian planimetri sangat diperlukan.



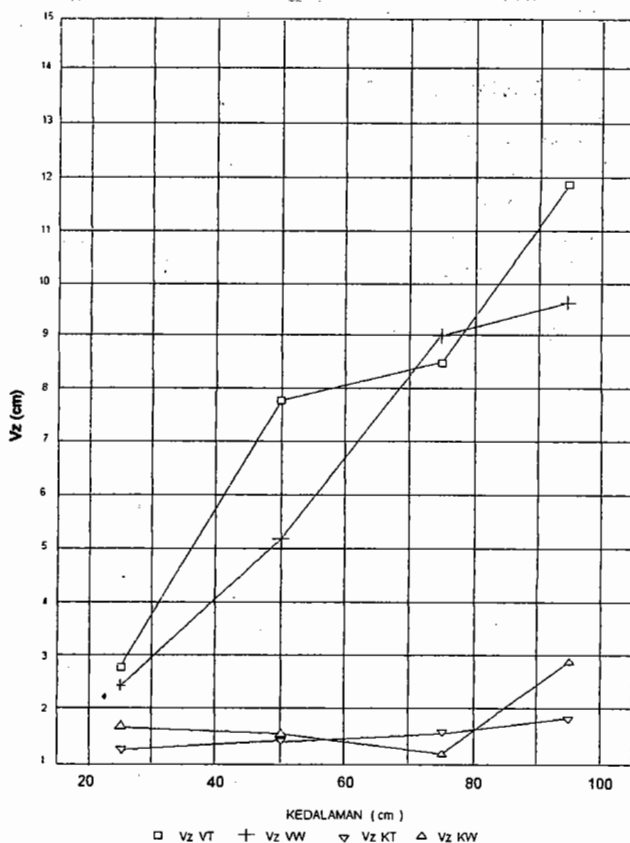
Gambar 6a. Grafik hubungan antara ketelitian arah x dengan kedalaman air



Gambar 6b. Grafik hubungan antara ketelitian arah y dengan kedalaman air

Pengaruh pembiasan air terhadap ketelitian ketinggian (V_z)

Grafik yang menggambarkan hubungan antara ketelitian ketinggian dengan kedalaman air dapat dilihat pada Gambar 7. Dari gambar tersebut terlihat bahwa



Gambar 7. Grafik hubungan antara ketelitian arah z dengan kedalaman air

untuk kasus pemotretan konvergen menghasilkan ketinggian yang lebih baik dari pada yang dihasilkan oleh pemotretan kasus vertikal. Pada kasus pemotretan konvergen ketelitian yang dapat dicapai adalah di bawah 2 cm untuk kedalaman 100 cm, sedangkan untuk kasus

pemotretan vertikal ketelitian ketinggian berkurang secara hampir linier sesuai dengan bertambahnya kedalaman air. Jika diperhatikan lebih seksama ternyata bahwa tingkat ketelitian ketinggian yang dihasilkan oleh kasus pemotretan konvergen relatif sama besarnya dengan ketelitian planimetris. Ketelitian ketinggian setingkat 2% terhadap kedalaman air merupakan ketelitian yang relatif cukup baik jika digunakan untuk keperluan pemetaan topografi dengan garis kontur dasar bawah permukaan, khususnya untuk pemetaan laut dangkal.

KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil penelitian yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa penggunaan teknik fotogrametri untuk keperluan pengukuran tinggi muka dasar perairan, khususnya untuk keperluan pemetaan laut dangkal dapat direkomendasikan. Untuk itu perlu diteliti lebih lanjut pada kasus yang sebenarnya di lapangan, meliputi penggunaan kamera yang lebih baik (kamera metrik), penggunaan film dan filter yang lebih sensitif tembus air, serta otomatisasi pemetaan digital dari data fotogrametri yang dihasilkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada saudara Heri Gunawan yang telah banyak membantu dalam penyelesaian penelitian ini, dan kepada saudara Yayat Sumaryat atas bantuannya dalam penyelesaian naskah ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Ir. Priyono yang telah banyak memberikan masukan (review) pada tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Irianto, A., 1989, *Analisis Ketelitian Penggunaan Kamera Non-Metrik dalam Penentuan Deformasi Obyek*, Jurusan Teknik Geodesi FT. UGM, Yogyakarta.
- Prijono, N. Dj., 1987, *Kalibrasi Kamera Udara Dalam Penerbangan*, Thesis S2, Jurusan Teknik Geodesi FTSP ITB, Bandung.
- Prijono, N. DJ., 1989, *Penentuan Karakteristik Geometrik Kamera Hasselblad 500 dengan Metoda UNBASC2*, Jurusan Teknik Geodesi FT UGM, Yogyakarta.
- Prijono, N. Dj., 1991, *Kalibrasi Kamera Non-metrik dengan Metoda Finite Element*, Jurusan Teknik Geodesi FT UGM, Yogyakarta.
- Prijono, N. Dj., 1993, *Analisis Ketelitian Triangulasi Udara pada Kasus Pemotretan dengan Kamera Non-metrik*, Jurusan Teknik Geodesi FT UGM, Yogyakarta.
- Riyanto, F.T.D.B., 1988, *Pemakaian Kamera Stereo Non-Metrik Untuk Keperluan Fotogrametri Terstris*, Jurusan Teknik Geodesi FT UGM, Yogyakarta.
- Saksono, T., 1988, *Analisis Deformasi Secara Fotogrametris Menggunakan Kamera Non-Metrik*, Seminar Fotogrametri Industri dan Arsitektur, Jurusan Teknik Geodesi FT. UGM, Yogyakarta.
- Sutanto, 1987, *Penginderaan Jauh*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Tewinkel, G.C., 1963, Water Dephts from Aerial Photographs, *Photogrametric Engineering*, Vol. 29, No 6.